

DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA TIPIFICAR MATERIALES AMORTIGUADORES PARA SU USO EN LÍNEAS DE MANIPULACIÓN DE FRUTA

García-Ramos, F.J.; J. Gil Sierra; P. Barreiro Elorza; M. Ruiz-Altisent; J. Ortiz-Cañavate; I. Homer Bannister
Laboratorio de Propiedades Físicas. Dpto. Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos. UPM.
Avda. Complutense s/n. 28040 Madrid
fjgarcia@iru.etsia.upm.es

Development of a procedure for testing padding materials in fruit packing lines. Two sensors, instrumented sphere IS 100 and impact tester, have been compared to analyze the performance of six different padding materials used in Spanish fruit packing lines. Padding materials tested have been classified according to their capability to decrease impact intensities inflicted to fruit in packing lines. A procedure to test padding materials has been developed for “Golden” apples. Its basis is a logistic regression to predict bruise probability in fruit. The model combines two kinds of parameters: padding material parameters measured with IS, and fruit properties.

Palabras clave: fruto electrónico, regresión logística, impacto, magulladura; instrumented sphere, logistic regression, impact, bruise.

1. Introducción

La fruta para consumo en fresco es confeccionada en líneas de manipulación comerciales donde recibe cargas mecánicas (impactos) que reducen su calidad. Estos impactos se suelen producir cuando la fruta es transferida entre los sucesivos elementos de la línea (puntos de transferencia).

El daño mecánico se puede evitar o reducir mediante el uso de materiales amortiguadores en las superficies de las máquinas (Burkner et al., 1972). Un material amortiguador debe cumplir tres requisitos (Bollen et al., 1995): 1. Debe absorber la energía de impacto sin dañar al fruto. 2. No debe aplicar una alta energía de rebote al producto. 3. Debe ser duradero y compatible con las condiciones de trabajo de la línea (no ser tóxico, no absorber humedad, etc.).

Se han realizado diferentes estudios con el objetivo de establecer procedimientos de evaluación de los materiales amortiguadores (Bollen et al., 1995) con un limitado éxito. Los materiales amortiguadores pueden ser analizados en laboratorio o en las líneas de manipulación. Siempre que un test de laboratorio sea capaz de evaluar las propiedades de un material amortiguador será preferible a la evaluación en línea, muy laboriosa en cuanto a tiempo y condiciones de trabajo.

Los tests tradicionales (p.ej. la dureza estática ASTM) utilizados para evaluar espumas no pueden ser aplicados en el caso de impactos dinámicos (Armstrong et al., 1995). Los

frutos electrónicos IS (Zapp et al., 1990) son una herramienta útil para establecer las características dinámicas de los materiales amortiguadores (Bollen et al., 1995; Miller, 1998) en base a su acelerómetro triaxial. Otro sensor consistente en un impactador compuesto de una masa esférica con un acelerómetro uniaxial (Chen et al., 1985; Jarén et al., 1992) puede ser utilizado con el mismo objetivo.

El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un procedimiento para evaluar materiales amortiguadores para su uso en líneas de manipulación de fruta fresca.

2. Materiales y métodos

Un fruto electrónico IS 100 (161 g de masa y 70 mm de diámetro; acelerómetro triaxial) y un impactador consistente en una masa esférica con un acelerómetro uniaxial acoplado (50 g de masa y 19,5 mm de diámetro) fueron utilizados para analizar las propiedades de seis materiales amortiguadores comerciales usados en líneas de manipulación de fruta en España. Las características de dichos materiales quedan reflejadas en la tabla 1.

<i>Material amortiguador</i>	<i>Codificación</i>	<i>Espesor, mm</i>
Poliéster con polietileno	A	4
PVC expandido	B	5
Polietileno expandido	C	5
Polietileno expandido	D	10
Poliuretano	E	5
Polietileno	F	10

Tabla 1. Características de los materiales amortiguadores analizados

Se han realizado diferentes tests con dos objetivos: 1. Evaluar la capacidad de los dos sensores (fruto electrónico e impactador) para clasificar materiales amortiguadores en base a la reducción de la máxima aceleración producida en el impacto entre el sensor y el material amortiguador. 2. Obtener un modelo estadístico, aplicado a manzana “Golden”, capaz de predecir la probabilidad de daño en base a las características del material amortiguador y de la manzana. Este estudio permitiría elegir el material amortiguador adecuado en función de las condiciones de impacto y el fruto manipulado.

2.1. Evaluación de sensores

Se realizó un test específico para estudiar la eficacia de los sensores, fruto electrónico IS 100 e impactador, para evaluar los materiales amortiguadores. Ambos sensores se dejaron caer libremente sobre cuatro materiales amortiguadores (A, B, C, y D) desde diferentes alturas: 4, 8, 12, 16 y 20 cm. Para cada caso se realizaron 10 medidas.

2.2. Clasificación de los materiales amortiguadores

Una vez se analizó la eficacia de los sensores, se realizó un segundo ensayo ampliado, con nuevas medidas para los seis materiales amortiguadores (A, B, C, D, E, y F) y nuevas alturas de caída: 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 cm. Estos datos se utilizaron para clasificar los materiales amortiguadores en base a la intensidad del impacto registrada

por los sensores (a mayor aceleración menor reducción del impacto) y para desarrollar un modelo estadístico para predecir daños en manzana “Golden”.

2.3. Probabilidad de magulladura en manzanas “Golden”

Dos grupos de manzanas “Golden” fueron impactadas en base a dos experimentos:

Experimento 1: 168 manzanas de cuatro tamaños (1, 2, 3 y 4) fueron divididas en grupos de cuatro manzanas (una de cada tamaño). Las manzanas se impactaron en caída libre sobre los seis materiales amortiguadores desde siete alturas de caída: 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 cm. El ensayo se hizo de forma que para cada material amortiguador y altura de caída se impactó un grupo de cuatro manzanas.

Experimento 2: 480 manzanas (240 de tamaño 1 y 240 de tamaño 3) fueron divididas en grupos de 30, cada grupo con manzanas del mismo tamaño. Estos grupos se impactaron en caída libre contra los materiales amortiguadores B y C desde cuatro alturas de caída: 4, 12, 20 y 28 cm.

Una vez impactadas las manzanas se dejaron a temperatura ambiente durante 24 h. Después de este tiempo se analizó la presencia de magulladura en la superficie de las mismas. Se desarrolló una regresión logística en base a las siguientes variables: a) presencia de magulladura en un conjunto formado por las 168 manzanas del experimento 1 y 40 manzanas del experimento 2. Estas 40 manzanas tuvieron las siguientes características: tamaños 1 y 3, materiales amortiguadores B y C, alturas de caída 4 y 28 cm; b) masa de la manzana; c) aceleración máxima obtenida con el fruto electrónico IS 100; d) cambio de velocidad obtenido con el fruto electrónico IS 100.

La elección de los grupos de manzanas se basa en que es muy difícil obtener todo el rango de probabilidades de magulladura (0-1) trabajando con pocas frutas en los extremos (alturas de caída 4 y 28 cm). Un error en estos valores de magulladura puede producir errores en el cálculo de la regresión logística. Para evitar este problema, el número de manzanas pertenecientes a las alturas de caída extremas (4 y 28 cm) fue mayor (44 manzanas para cada extremo) que para las alturas de caída intermedias (24 manzanas por altura). La regresión logística fue validada con 440 manzanas pertenecientes al segundo experimento y no utilizadas en el cálculo de la regresión.

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación de sensores

Los sensores analizados (IS e impactador) fueron capaces de clasificar los diferentes materiales amortiguadores en base a la intensidad del impacto (figuras 1 y 2).

Las figuras 1 y 2 muestran los valores de aceleración máxima obtenidos con el fruto electrónico IS y el impactador para cada material amortiguador y altura de caída. Los impactos son referidos como aceleración máxima media (para $n = 10$) expresada en unidades de gravedad, donde $1 g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

En la tabla 2 se detallan los valores medios de aceleración máxima y la desviación típica de cada ensayo. El impactador es capaz de registrar un valor máximo de aceleración de 150 g, por lo que valores superiores a 150 g no son considerados en la comparación de ambos sensores.

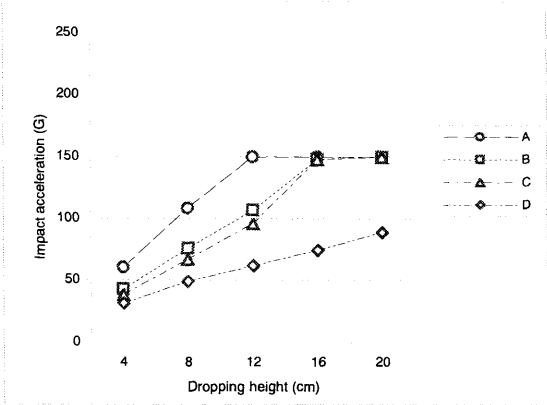


Figura 1. Aceleración máxima obtenida con el impactador de caída libre

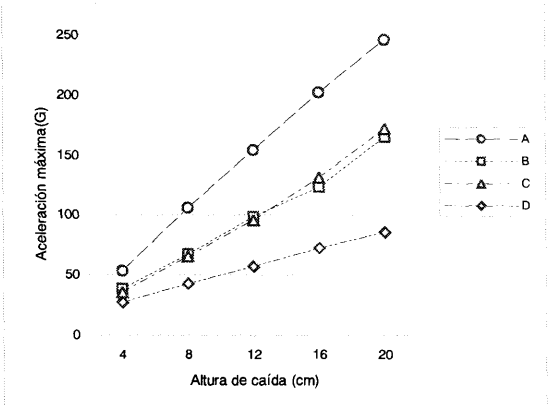


Figura 2. Aceleración máxima obtenida con el fruto electrónico IS 100

Materiales amortiguadores	Nombre	H(cm)	Aceleración máxima (g)		Desviación típica (g)	
			Impactador	IS 100 M	Impactador	IS 100 M
Poliéster - polietileno 4mm	A	4	60	53	0,65	3,97
PVC expandido 5mm	B	4	42	39	1,19	0,83
Polietileno expandido 5mm	C	4	38	36	0,86	1,25
Polietileno expandido 10mm	D	4	31	27	0,85	1,23
Poliéster - polietileno 4mm	A	8	108	106	0,76	1,23
PVC expandido 5mm	B	8	76	67	0,97	2,30
Polietileno expandido 5mm	C	8	67	65	2,06	1,80
Polietileno expandido 10mm	D	8	49	43	1,15	1,65
PVC expandido 5mm	B	12	107	99	1,51	1,7
Polietileno expandido 5mm	C	12	96	96	2,33	2,42
Polietileno expandido 10mm	D	12	61	57	3,15	5,29
Polietileno expandido 10mm	D	16	74	72	1,33	2,03
Polietileno expandido 10mm	D	20	89	86	2,45	2,51

Tabla 2. Valores medios y desviación típica de la variable aceleración máxima

Los resultados son similares con ambos sensores, destacando los siguientes hechos: la aceleración máxima es ligeramente mayor para el caso del impactador en comparación con el fruto electrónico IS 100; el valor de la desviación típica es menor en los ensayos realizados con el impactador, este hecho puede ser debido a que el fruto electrónico puede tener alguna falta de homogeneidad en su construcción.

En consecuencia, el uso del impactador es apropiado para medidas precisas en laboratorio dada su mayor repetibilidad y fácil manejo en relación con el fruto electrónico.

3.2. Clasificación de los materiales amortiguadores

El impactador muestra una mayor repetibilidad en los ensayos, sin embargo, dado que su límite de medida es 150 g, se han utilizado los datos aportados por el fruto electrónico

IS (cuyo límite de medida es 300 g) para clasificar los materiales amortiguadores en base a su poder de disminución de la aceleración del impacto (figura 3).

Atendiendo a la figura 3, para cada material amortiguador se aprecia la evolución de los parámetros aceleración máxima y cambio de velocidad con el aumento de las alturas de impacto. Cuanto más efectivo es un material amortiguador, más plana es su curva (más cercana al eje de abscisas). El material amortiguador F es el más efectivo y el A el menos efectivo en la reducción de los impactos. En general, para una misma altura de caída, se observan grandes diferencias en los valores de aceleración máxima al comparar los seis materiales amortiguadores.

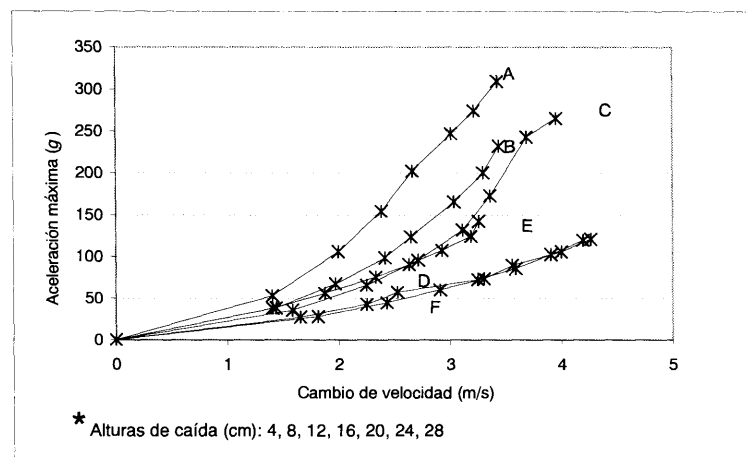


Figura 3. Gráfico de distribución de impactos obtenido con IS 100 para los diferentes materiales amortiguadores

3.3. Modelo estadístico

En base a los ensayos realizados se calculó una regresión logística para estimar probabilidad de daño en manzana “Golden” basada en las siguientes variables: masa de la manzana (m), aceleración máxima medida con el IS (g), y cambio de velocidad medido con el IS (cv). El modelo estadístico (figura 4) predice la probabilidad de daño de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Probabilidad de daño (\%)} = \frac{e^f}{1 + e^f} \cdot 100; \quad \text{siendo}$$

$$f = \beta_0 + \beta_1 \cdot m + \beta_2 \cdot G + \beta_3 \cdot vc$$

$$f = -7,63675 + 0,02019 \cdot m + 0,00581 \cdot g + 0,55565 \cdot vc;$$

El modelo (figura 4), calculado con 208 manzanas y validado con 440 manzanas (ocho lotes de 30 manzanas y ocho lotes de 25 manzanas), predice la probabilidad de daño correctamente con una varianza no explicada de 0,104 ($r^2 = 0,896$).

Aunque el número de fruta utilizada para calcular el modelo logístico fue menor (208 manzanas) que el método de muestreo utilizado en el experimento 2 (480 manzanas), los intervalos de confianza fueron menores en el primer caso. Considerando un porcentaje de fruta dañada del 6%, el intervalo de confianza obtenido con el modelo logístico es del 4% frente a un 8% para el método de muestreo.

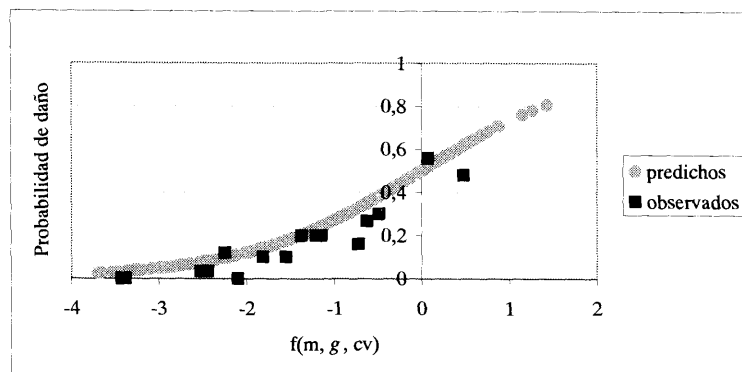


Figura 4. Regresión logística para predecir probabilidad de daño en manzanas “Golden”

4. Conclusiones

- ✓ El fruto electrónico IS 100 y el impactador vertical permiten evaluar las propiedades de los materiales amortiguadores para reducir las intensidades de impacto. El impactador vertical muestra una mayor precisión, si bien su bajo límite de lectura (150 g) dificulta su uso en condiciones de impacto extremas.
- ✓ Se ha desarrollado un procedimiento para evaluar materiales amortiguadores aplicado a manzana “Golden” basado en una regresión logística calculada con dos tipos de variables: características del material amortiguador medidas con el IS y características de la fruta.
- ✓ El procedimiento propuesto reduce el número de frutos necesarios para evaluar un material amortiguador en comparación con métodos tradicionales.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y a la Comunidad Autónoma de Madrid por la financiación de este proyecto.

6. Referencias bibliográficas

- Armstrong, P.R., Brown, G.K., Timm, E.J. 1995. Cushioning choices can avoid produce bruising during handling. Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables. ASAE Publication. 183-190.
- Bollen, A.F., De la Rue, B.T., Studman, C.J., Boyd, L., Mowatt, C.M. 1995 Padding materials for handling horticultural products. Development of an evaluation procedure. Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables. ASAE Publication. 129-135.
- Burkner, P.F., Chesson, J.H., Brown, G.K. 1972. Padded collecting surfaces for reducing citrus fruit injury. Transactions of the ASAE. 1972. P:627-629..
- Chen, P., S. Tang and S. Chen. 1985. Instrument for testing the response of fruit to impact. American Society of Agricultural Engineers Paper Number 75-3537.
- Jarén, C., Ruiz-Altisent, M., Perez, R. 1992. Sensing physical stage of fruits by their response to non-destructive impacts. Paper no. 9211-113. AgEng 1992.
- Miller, W. 1998. Impact cushioning material considerations. Packinghouse Newsletter No. 181. March, 4, 1998. Cooperative Extension Service. University of Florida.
- Zapp, H.R., Ehlert, S.H., Brown, G.K., Armstrong, P.R., Sober, S. 1990. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. Transactions of the ASAE. 33(3): 955-960.